

氏 名	高 林 徹
生 年 月 日	
本 籍	愛知県
学 位 の 種 類	博士 (工学)
学 位 記 番 号	博甲第404号
学位授与の日付	平成13年3月22日
学位授与の要件	課程博士 (学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	自動車用ガラスの安全に関する研究
論文審査委員 (主査)	尾田 十八 (工学部・教授)
論文審査委員 (副査)	放生 明廣 (工学部・教授) 山崎 光悦 (工学部・教授)
	榎谷 浩 (工学部・助教授) 坂本 二郎 (自然科学研究科・助教授)

学 位 論 文 要 旨

Abstract

Recently, the safeness became extremely important for value of automobiles. For the windshield of automobiles, it is necessary to evaluate the safety performances in view of active safety and passive safety.

Electric Heated Windshield (EHW) for Vehicles is laminated glass and metal oxide is coated on the laminated surface of inner glass. The heat performance of EHW can remove mist and frost of glass outer surface. It is decided by electric resistance of metal oxide and its distribution. In this paper, optimum resistance distribution of metal oxide is obtained by using the genetic algorithm. The optimized model reduces 37% differences of temperature and 29% thermal stress than the uniform resistance model. It is the design for active safety.

On the other hand, auto-mobile air-bag system are usually used. But now, a lot of safety problems of the air-bag system for the passengers have been reported. In this paper, the fracture behavior of windshield by impact pressure of a passenger side air-bag and the fracture mechanism are analyzed. Further more, the effect of pre-crack in glass on the fracture of windshield is analyzed. These studies are performed for the symmetrical laminated glass with two same thickness glasses and the asymmetrical laminated glass reducing thickness of inside glass. This is the evaluation for passive safety.

90年代の半ばより、自動車の価値として「安全」が大きくクローズアップされるようになって来ている。殊にSRS (Supplemental Restraint System: 補助乗員拘束装置) エアバッグシステムの登場以降、「乗員の生命を守る」性能が自動車選びの大きな要因にあげられるようになった。事故が起こったときの安全性 (Passive Safety) を向上させる装備だけでなく、事故を起こさせない安全性 (Active Safety) の向上をはかるデバイスも標準化が進み、いまや自動車の安全性能は、乗員を守ることにのみとどまらず、対人事故の

際の被害者のダメージを軽減させる性能にまで言及されつつある。そうした中であって、ガラスも「運転者の視界を確保しつつ、走行風などの影響から乗員を保護する」という単純な機能のみでない多様性が求められるようになってきた。各種の新しい装備を備えた現在の自動車安全設計の傾向にマッチした、新たな視点での安全性の追求が重要視されてきている。

本研究では、自動車用ガラスの中でももっとも役割の大きなフロントガラスの安全性について着目し、Active Safetyの側面から前方視界の確保機能を向上させる製品の最適設計を行なった。またPassive Safetyの側面からは、事故の際におけるガラスの乗員保護機能に、エアバッグの標準装備化という現在の動向を反映した視点から見た、予き裂および不等厚合わせ化の影響という新たな考察を加えることを主たる目的とした。

フロントガラスには運転者の前方視界の確保というActive Safetyの根幹を成す機能がある。図1に示す電熱風防ガラス (Electric Heated Windshield

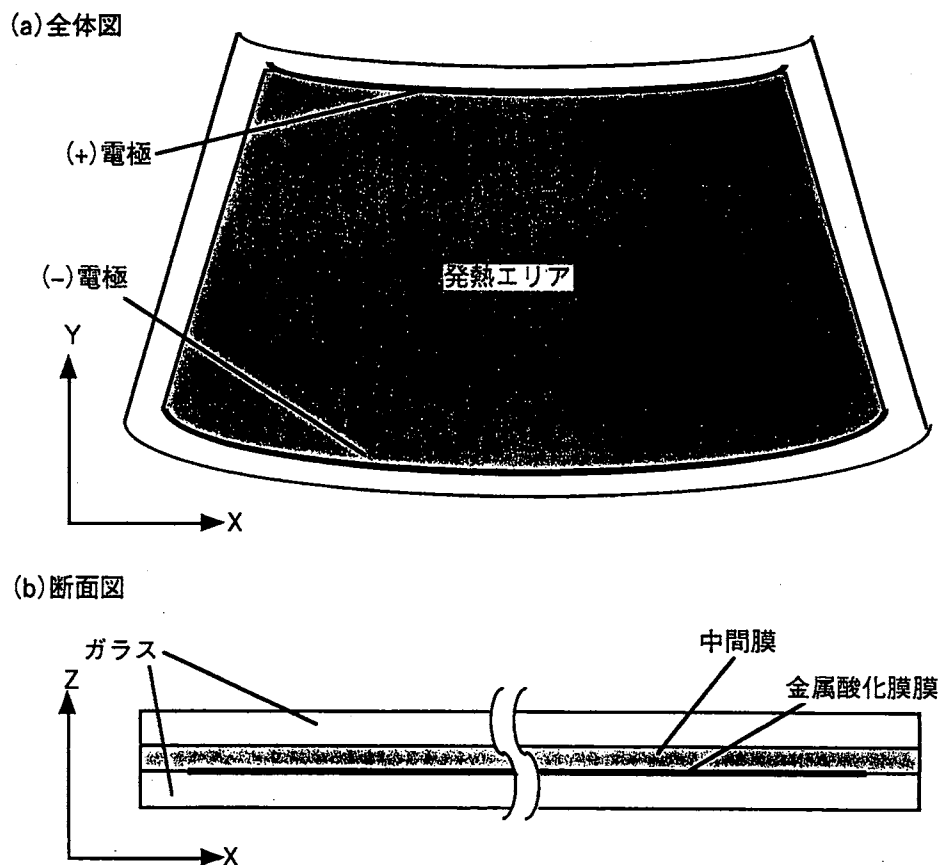


図1 EHW外観模式図

： EHW）は発熱機能によって融雪・防曇効果を発揮し、天候の影響などを極力排して、良好な視界を保つことができる。この電熱風防ガラスを取り上げ、有限要素法解析と遺伝的アルゴリズム（GA）の手法を用いた、最適な発熱分布と発生熱応力の低減を達成する設計について検討した。

最適化手法の一つであるGAを適用し、温度分布の発生を極力抑えるために金属酸化膜の抵抗値を対象とした最適設計を試みた。すなわち最適な抵抗値分布を見出すことによって、最適な（このケースでは可能な限り均一な）温度分布を達成することを目的とした。図2に示す2次元簡易モデルに、GA計算で得られた最も適合度の高い図3の抵抗値分布を用いて、発熱時に定常状態で発生する温度分布を計算した。その結果、図4の抵抗値均一の初期状態温度分布に比べて、最も効果的だったものでは図5のようにモデル内の最大、最小温度差を19%にまで抑えることができた。

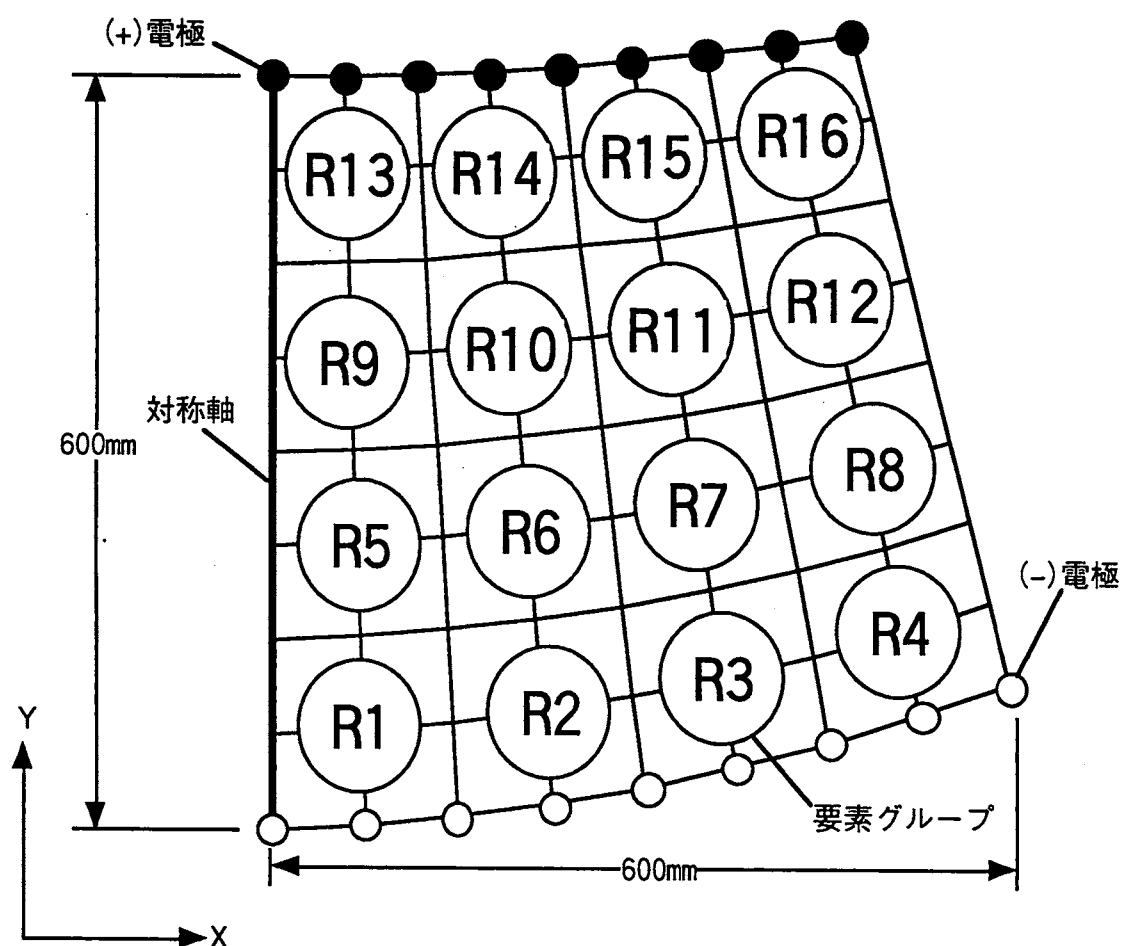


図2 定常熱伝導計算の有限要素法第1計算モデル

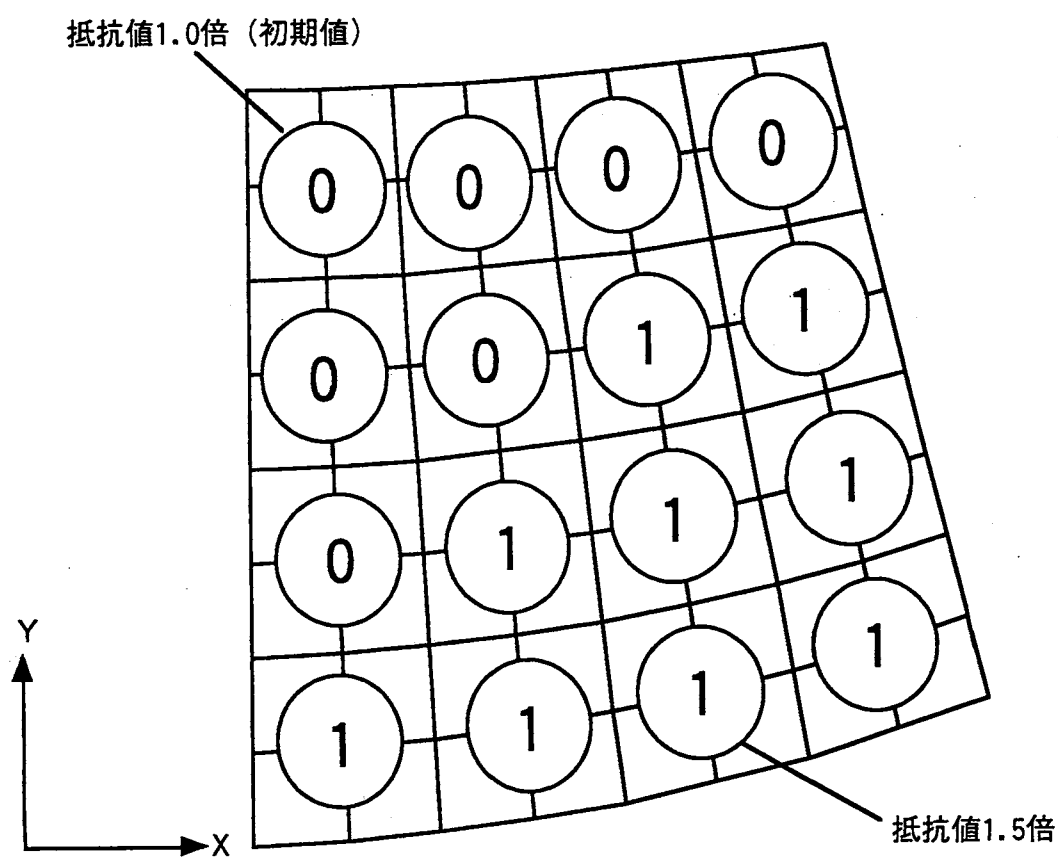


図3 離散型モデルにおける最適な抵抗値分布

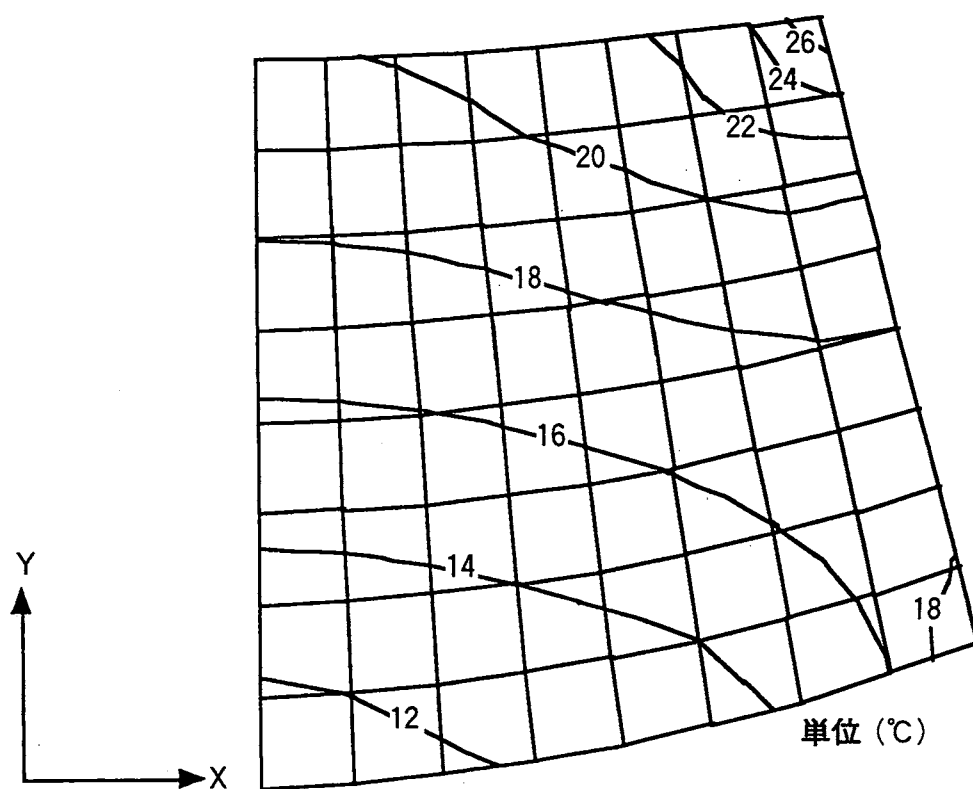


図4 抵抗値分布のないモデルの定常状態温度分布

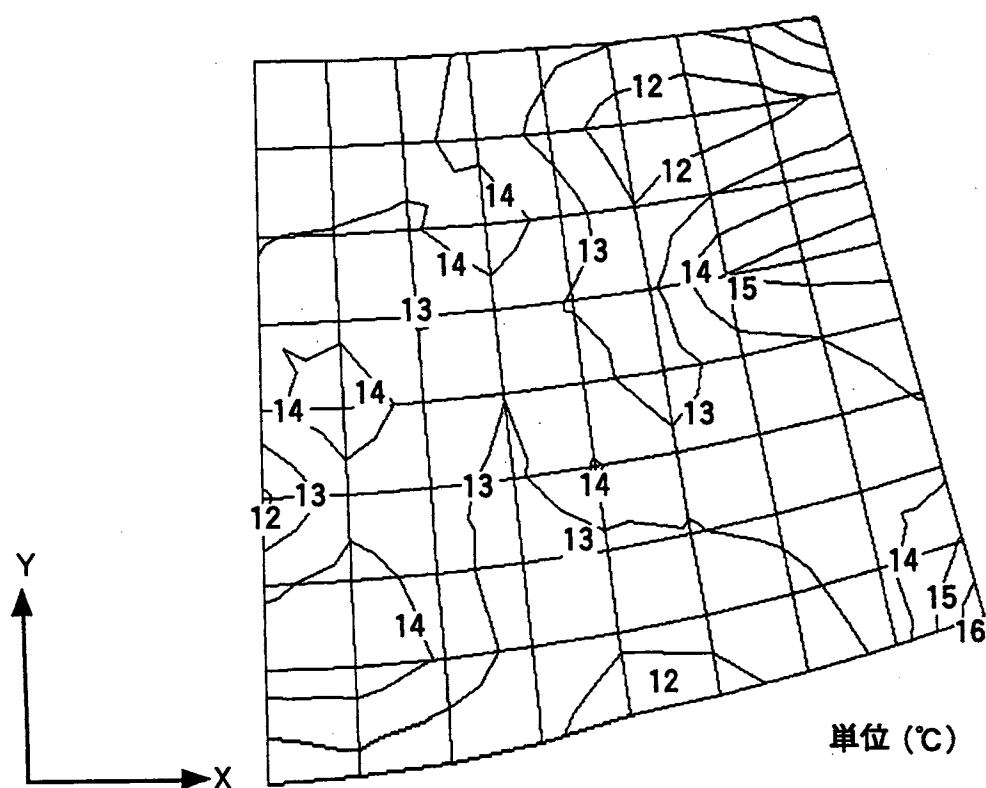


図5 図3の抵抗値分布モデルによる定常状態温度分布

さらに同じ抵抗値分布を用いて、実際のガラスと同様の3次元立体モデルで発生する熱応力を計算したところでは、抵抗値均一のケースに対して温度差を63%、応力値を71%にまで低減できた。これらの結果から、ガラス面内の温度差を抑えて発生熱応力を低減するために、電熱風防ガラスの抵抗値分布設計にGAの適用が有効であることが確認できた。

また、主に助手席エアバッグの登場によって、フロントガラスは図6のようにバッグを支持するために新たな負荷を受けることとなり、それにとまなう破壊の危険性が懸念される。実車のフロントガラスーエアバッグ系で起きている現象を簡易に再現出来るようにした試験装置を用いて、合わせガラスの破壊試験を行なった。その際考察されたき裂の存在が、合わせガラスの耐貫通強度に大きく影響しているという知見を得た。

専用に作製した図7の試験装置により、近年ほぼ標準化されつつある自動車用エアバッグの有効性を、フロント合わせガラスの変形・破壊挙動と関連して実験的に解明した。その結果として、合わせガラスに衝撃子が直接衝突

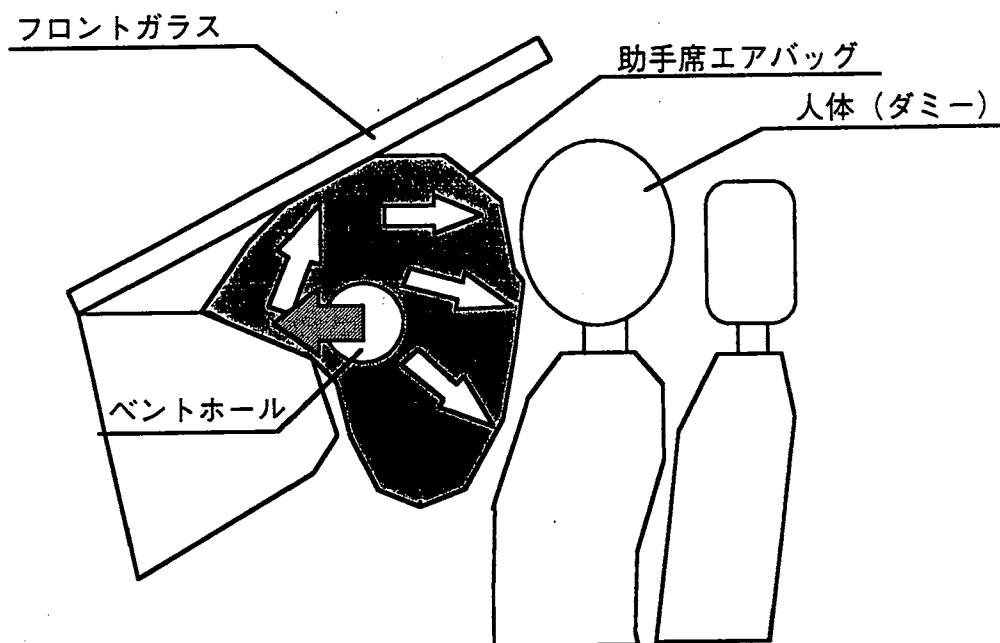


図6 助手席エアバッグ展開模式図

するときの破壊は、き裂がまず衝撃中心から放射線状に伝播し、その後同心円状に伸展することで起こると予測されるのに対し、エアバッグを介して合わせガラスに衝撃子が衝突する際には、エアバッグと合わせガラスの接触面において一様に応力が分散されることが判った。それによりエアバッグは衝撃の集中を防ぎ、図8のメカニズムで応力の分散・緩和効果を発揮してひずみを低減させるため、可能な限り内圧は低い方がより緩和効果を高めることも明らかとなった。一方で合わせガラスに予き裂が存在すると、衝撃のある面とその反対側の面に、それぞれき裂を入れて膜破断の有無を見た表1に示すとおり、中間膜破断を引き起こす確率が極めて高くなるため、こうした現象を生じない設計上の工夫が今後重要であることを明確にした。

さらにこの予き裂により貫通強度の低下した合わせガラスについて、これまで乗用車のフロントガラスに一般的に用いられて来た2.0+2.0mmの等厚ガラス2枚の合わせガラスと、今後車体重量軽量化のニーズにともない需要が増していくであろう不等厚（主として車内側のガラス厚みを車外側のものより薄くしている：本研究では2.0+1.6mmを使用）合わせガラスとで、図9に示す4通りのサンプルにより、その貫通に要したエネルギーを実験結果から比

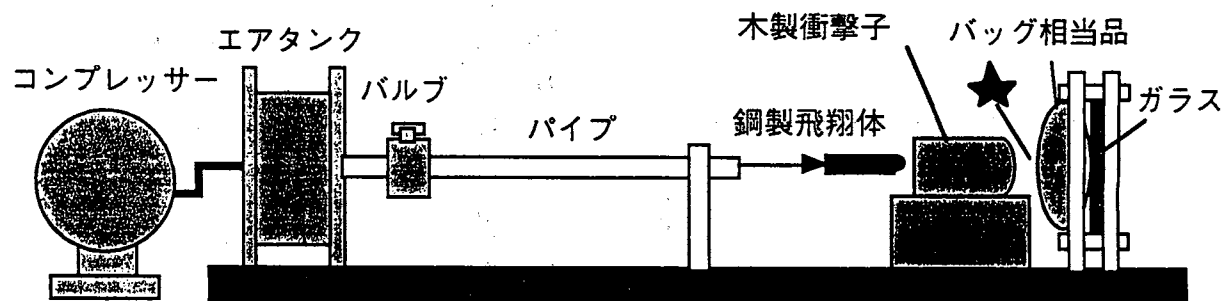


図7 エアガン式試験装置模式図

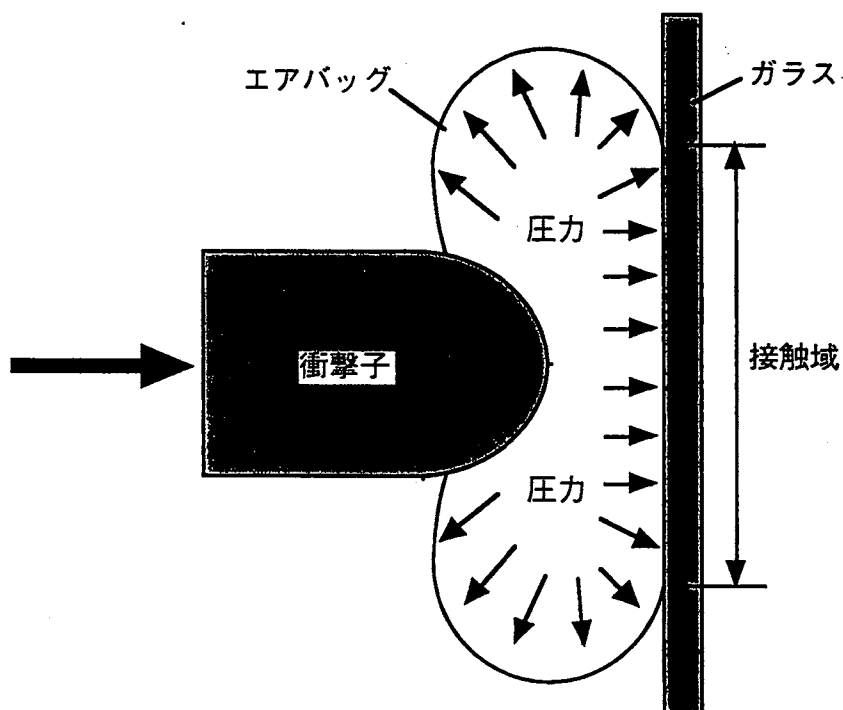


図8 エアバッグとガラスの接触モデル模式図

表1 予き裂の有無と貫通との相関

試験片タイプ	エアバッグ内圧	総サンプル数	膜破断発生数
ノーマル（き裂なし）	29.4kPa	7	2
	49.0kPa	13	1
タイプA（衝撃面側）	29.4kPa	5	4
	49.0kPa	4	4
タイプB（自由面側）	29.4kPa	4	3
	49.0kPa	4	3

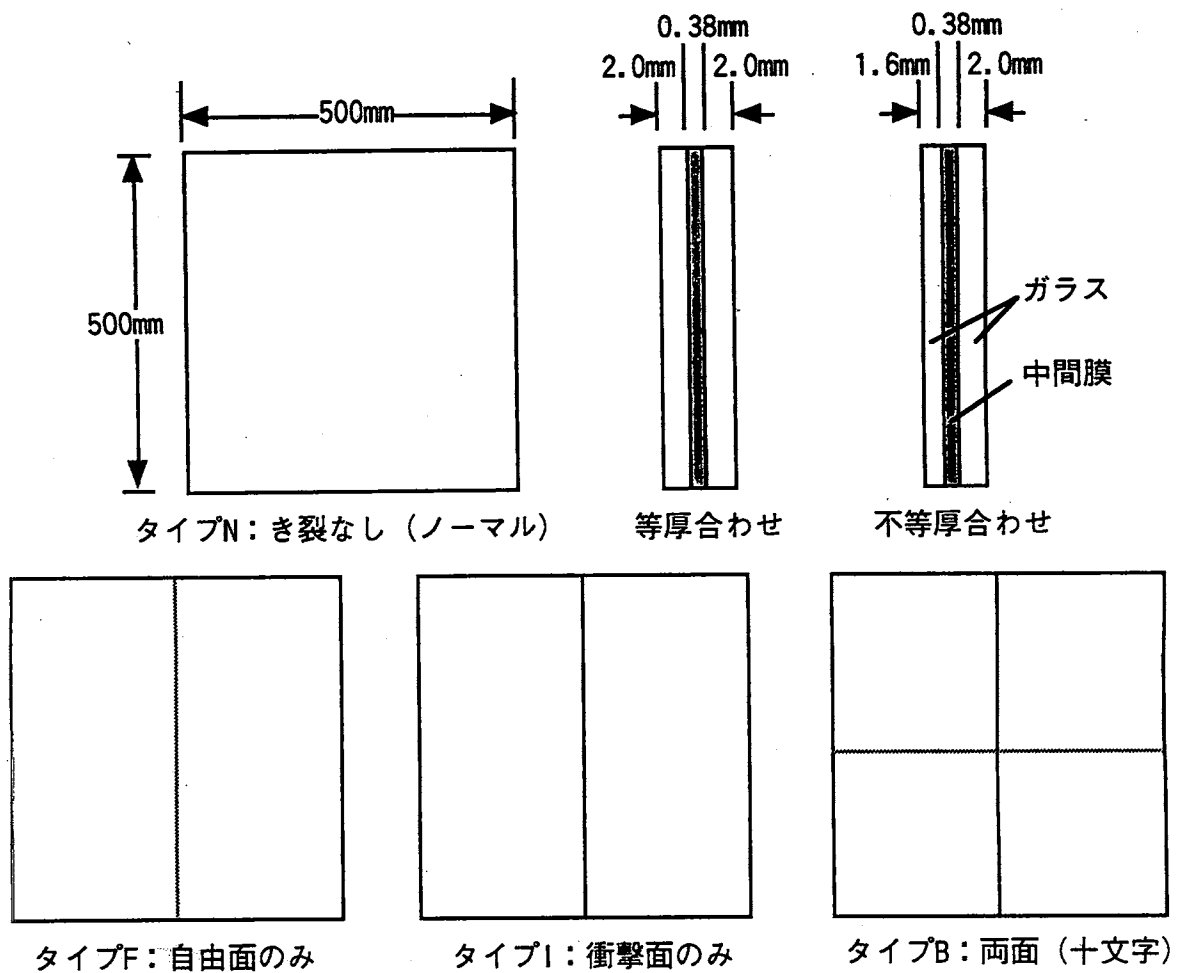


図9 等厚／不等厚合わせ試験片と予き裂タイプ

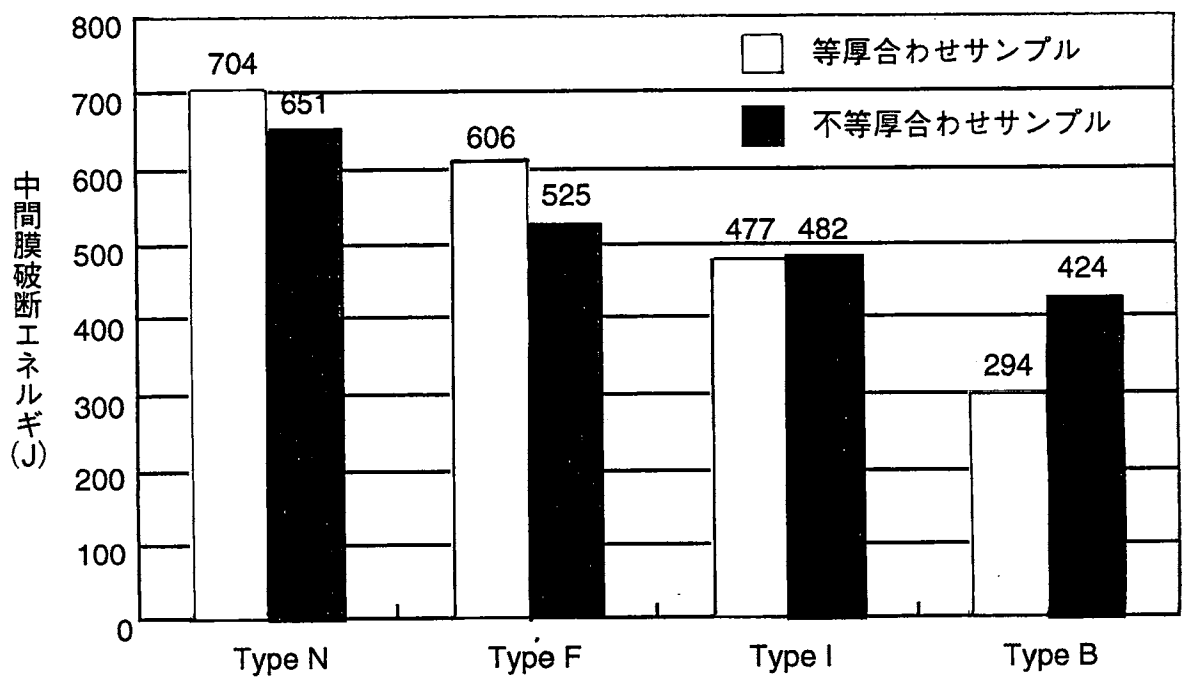


図10 等厚／不等厚合わせ各サンプルの中間膜破断エネルギー

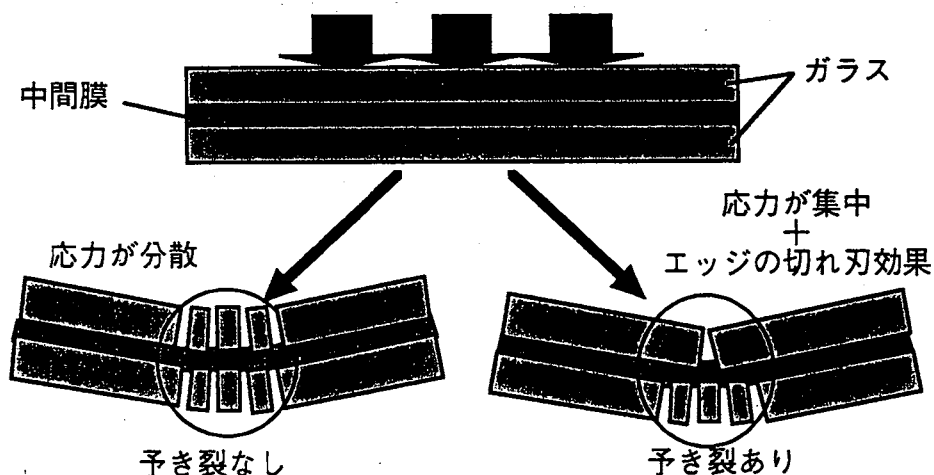


図11 衝撃面側予き裂の膜破断への影響メカニズム

較した。その結果、図10に示すように、剛性面から見て強度が劣ると予想された不等厚合わせガラスで、予き裂の入った状態では貫通エネルギーが等厚合わせガラスよりも大きくなるというケースが存在するのを見出した。

この結果から推定される現象メカニズムについて、図11の予き裂直下への応力の集中と、割れたガラス端部による切れ刃効果のためであるとの仮説を立てた。すなわち板厚が薄くなると剛性が小さくなるために、中間膜を押し切る力も小さくなるためだと考えた。この仮説を個別要素法解析（DEM）を用いて検討し、き裂の入った状態では、車内側のガラスが薄いほど耐貫通性が高くなることを理論的に検証した。

主に自動車の軽量化の要求から既に欧州で採用され始めている不等厚合わせガラス（主として車内側のガラス板厚みを薄くしている）への影響を含めて、予き裂の危険性をより詳細に検討してみた結果として、予き裂のタイプの中でも衝撃面側ガラスの予き裂は、合わせガラスのエアバッグに対する耐貫通性能を大きく低下させることを明らかにした。また衝撃面側ガラスの予き裂の効果は衝撃面側ガラスの厚みにも影響され、衝撃面側ガラス厚みを薄くした不等厚合わせガラスは、予き裂の存在によるエアバッグに対する耐貫通性能の低下を等厚合わせに比べて低減できることが判った。さらに予き裂による効果を検証する解析的手法にDEM解析を用いて、メカニズムを明らかにすることができた。

学位論文審査結果の要旨

当該論文に対して個別に面接審査を行うとともに2回にわたって審査委員会を開催し、協議の結果、以下の通り判定した。

本研究では、自動車用ガラスの中でも特にフロントガラスの安全性について、Active SafetyおよびPassive Safety両面からの検討を行っている。その成果として視界域の視認性を向上させる自動車用電熱風防ガラスに対しGAを適用し、金属酸化膜の抵抗値を対象に最適設計を試み、これによって従来モデルに対し、最大、最小温度差を19%にまで抑え、かつ熱応力値を72%にまで低減できることを明らかにしている。また自動車用エアバッグの有効性を実験的に解明している。つまりエアバッグはフロントガラスに対して衝撃の集中を防ぎ、応力の分散・緩和効果を発揮する。従って可能な限り内圧は低い方が、緩和効果を高めることを明らかにしている。また合わせガラスに予き裂が存在すると、中間膜破断を引き起こす確率が極めて高くなるため、こうした現象を不等厚合わせガラス(主として車内側のガラス板厚みを薄くしている)への影響を含めて、より詳細に検討している。そして衝撃面側ガラスの予き裂は、特に合わせガラスのエアバッグに対する耐貫通性能を大きく低下させることを明らかにし、そのメカニズムについても論じている。

以上より、本論文は関連する工学および工業界にきわめて有意義な知見を与えることより、博士(工学)論文に値するものであることを判定した。